

KFKI-1977-110

SZABADOS L.

AZ
NVH TERMOHIDRAULIKAI KISÉRLETI BERENDEZÉS
III. RÉSZ
MÉRŐSZAKASZOK ÉS MÉRÉSTECHNIKAI ESZKÖZÖK

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

2017

KFKI-1977-110

AZ NVH TERMOHIDRAULIKAI KÍSÉRLETI BERENDEZÉS
III. RÉSZ
MÉRŐSZAKASZOK ÉS MÉRÉSTECHNIKAI ESZKÖZÖK

Szabados László

Magyar Tudományos Akadémia
Központi Fizikai Kutató Intézete
1525. Budapest 114. p.f. 49.

HU ISSN 0368 5330

ISBN 963 371 358 7

KIVONAT

A cikk a modellezés és modellválasztás problémáival foglalkozik. Bemutatja az NVH berendezésen alkalmazott mérőszakaszokat, majd néhány speciális mérőösszeállítás rövid összefoglalását adja.

АННОТАЦИЯ

Статья занимается проблемами создания и выбора экспериментальных моделей для термогидравлических исследований реакторов ВВЭР. Описываются экспериментальные участки, применяемые в ЦИФИ на теплофизическом стенде, а также некоторые специальные системы исследований.

ABSTRACT

The problems of modelling and model selection are treated in the article. The test sections applied in the loop are described, and some special measuring setups are given.

1. A modellválasztás problémái

A termohidraulikai kísérleteknél, ha azok célkitűzése energetikai reaktorok tervezése, vagy továbbfejlesztése, alapvető szempont a modellhűség, vagyis az, hogy a kísérleteknél kapott eredmények, adatok a valóságosnak megfeleljenek, illetőleg azokat a lehető legjobban közelítsék. Ennek megfelelően, ha a műszaki adottságok megengedik, a valóságosnak megfelelő 1:1 léptékű modelleket építenek, amelyekre jellemző a geometriai hűség, a hőfluxuselozslás, a hűtőközeg paraméterek azonossága.

Nézzük meg a modellezés szempontjából a VVER-440 és VVER-1000 reaktorokat. A reaktorzónában a legkisebb egység, amely viszonylag egyszerűen megadható perem- és csatlóási feltételekkel a zóna egészéhez kapcsolható, a fűtőelemköteg. Egy fűtőelemköteg a VVER-440-nél 127, a VVER-1000-nél pedig 331 fűtőelemrudat tartalmaz. Nézzük meg ilyen méretű modellek, mérőszakaszok vizsgálatához szükséges hűtőközeg forgalom és teljesítmény adatokat. A VVER-440-nél a szükséges hűtőközeg forgalom $117,5 \text{ m}^3/\text{óra}$, a várható kritikus teljesítmény kb. 15 MW, míg a VVER-1000 esetében a forgalom $544,9 \text{ m}^3/\text{óra}$, a teljesítmény kb. 30 MW. Ebből a két adatból is látható, hogy az ilyen kísérletek végrehajtásához szükséges berendezés a VVER-1000-nél már 30 MW-os lenne és óriási költségeket jelentene, ezért a hőfizikus és a tervező számára csábító természetes léptékű modellek helyett - mint a tervezői gyakorlatban általában - kompromisszumos megoldásokat kell keresni.

A szokásos berendezés nagyságok az 1. táblázatban láthatók.

1. Táblázat

Ország	Intézet	Műszaki adatok				
		Nyomás kp/cm ²	Teljesít- mény kW	Hőmérséklet C°	Hűtőközeg mennyiség m ³ /h	Mérőszakasz hossz mm
Szovjetunió	Kurcsatov	100	6000	310	100	2500
Szovjetunió	Krizsansz.	190	2000	550	-	2500
Franciao.	CENG	170	9000	352	100	5000
Olaszo.	CISE	250	12000	370	70	10000
NSZK	AEG	165	5000	700	-	1700
Svédország	ASEA	100	8000	310	-	4500
Svédország	Studsvik	155	5500	343	138	4000
Lengyelo.	Svierk	160	300	350	30	4500
Magyaro.	KFKI	160	2200	350	70	4500

TERMOHIDRAULIKAI KISÉRLETI BERENDEZÉSEK EUROPÁBAN

Az adatokból is látszik, hogy korszerű energetikai reaktorok esetében a berendezés nagyságok - de elsősorban a teljesítmény - a teljes modellhűség szempontjából korlátot jelent. A fűtőelemköteg természetes nagyságánál általában csak kisebb zónarészletek vizsgálhatók.

A vizsgálható rácsok nagyságát a vizsgálni kívánt probléma is befolyásolja. Forrásos krízis /kritikus hőfluxus/ vizsgálatoknál adott berendezésen a rácsnagyság csak fele, harmada lehet, mint névleges üzemi paraméterek mellett, /lásd: az 1. táblázat/.

A rácsnagyság megválasztását a gazdaságossági megfontolásokon túlmenően más tényezők is befolyásolják. Bizonyos rudszámon felül a rudak azonos körülmények között vannak, tehát sem elméleti, sem gyakorlati szempontból nem szükséges, hogy számukat egy bizonyos határon túl növeljük. Pl. a 19 rudból álló háromszög rácsban felépített köteg az a legkisebb rácsnagyság, amely még rendelkezik hőátadási és hidraulikai szempontból olyan fűtőelem csatornákkal, amelyekből a reális fűtőelemköteg is felépül.[1]

A nagy fűtőelemszámu kötegekkel végzett kísérletek mérés-technikai szempontból is rendkívül bonyolultak és olyan technológiai felkészültséget igényelnek, amelyek eszköz-és szakember igénye csak kivételesen jó helyzetben lévő kutató helyeken elégíthető ki.

A modellválasztást természetesen befolyásolja a vizsgálni kívánt fizikai probléma és a kutatás célkitűzése is. A reaktorban lejátszódó fizikai folyamatok bonyolultak és összetettek. A fizikai alapjelenségek vizsgálatát pl. olyan

egyszerű modelleken célszerű végezni, amelyekben a jelenség "tisztán" - zavaró tényezőktől mentesen - jelentkezik. A kapott eredmények megfelelő kezdeti-, perem- és csatolási feltételekkel azután elméletileg általánosíthatók olyan komplex geometriákra, mint a fűtőelemkötegek. A reaktor termohidraulikai kutatásokban a célszerű és általában követett eljárás az, hogy az alapjelenségek ismeretében a kutatási téma nagyobb rudszámu mérőszakaszon végzett "globális" kísérlettel zárul és így az elméleti általánosítás gyakorlati- kísérleti igazolást nyerhet.

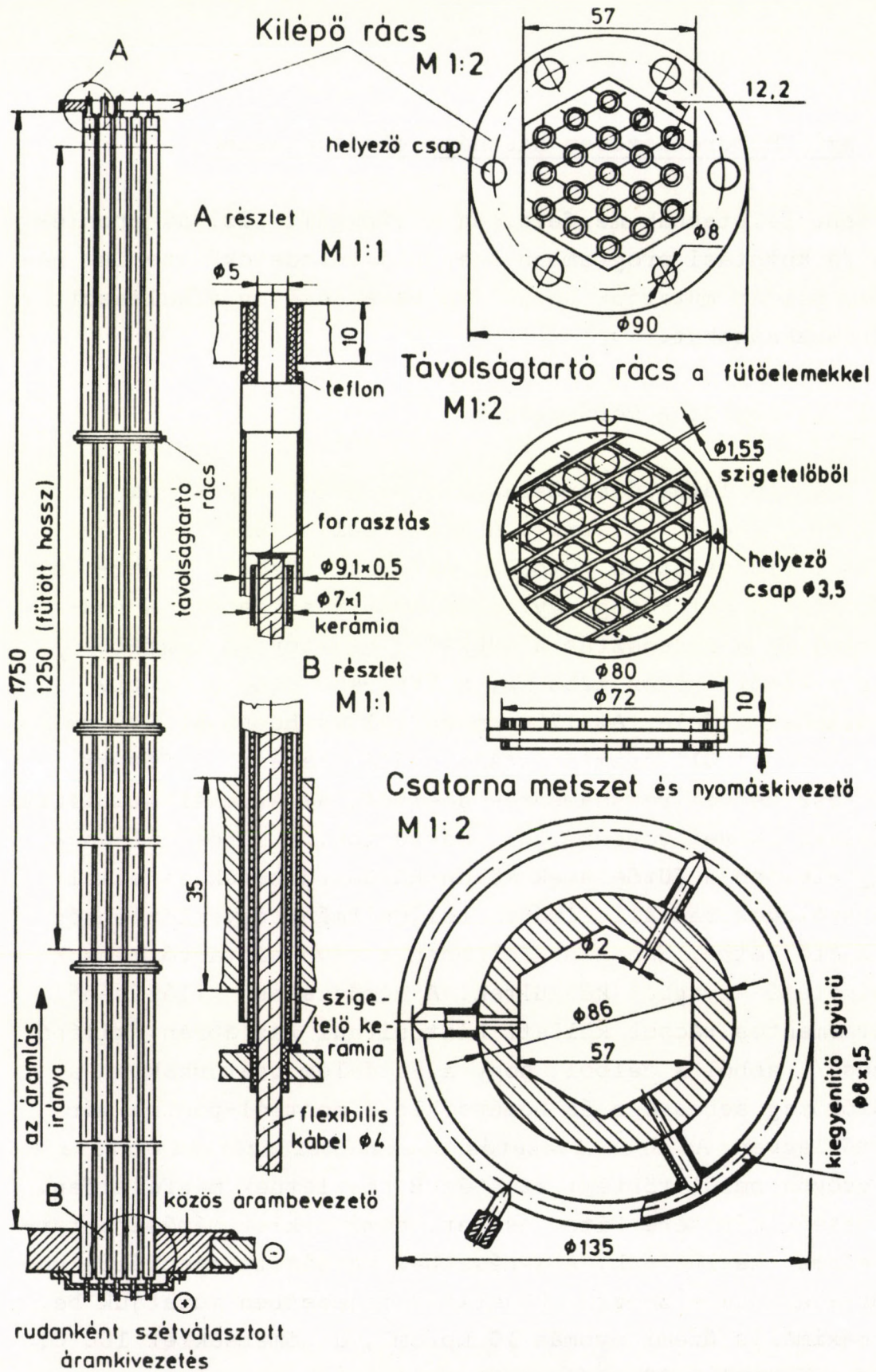
Ez a kutatási stratégia természetesen nem a reaktorkutatások jellemzője csupán. A modellválasztás fontosságát itt különösen az indokolja, hogy az energetikai reaktorok egységteljesítménye együtt nőtt a teljesítménysűrűséggel, ugyanakkor növekedtek az igények a reaktorbiztonsággal szemben is. Az energetikai reaktorok harmadik nemzedéke 900-1300 MWe egységteljesítménnyel épül és nem kísérleti objektum. Hozzá kell tenni, hogy energetikai- kísérleti célra számos erőmű épült, gondoljunk csak a VVER típusra, amelynek első egysége 210 MWe teljesítményű volt és elsősorban energetikai- kísérleti célokat szolgált. Ez is egyfajta modellkísérlet, ahol a modellhűség teljes, de az üzembehelyezést meg kellett előznie egy hosszú kísérletsorozatnak, amelyeket különböző - sokkal egyszerűbb - modelleken végeztek. A munkát azonban nem tekinthetjük befejezettnek. A jelenségek pontosabb megismerése, a zóna "finom-analizise" egyidejűleg növeli az erőmű gazdaságosságát és biztonságát. Ezeket a célokat szolgálják azok a kísérletek is, amelyeket a következő fejezetben leírt mérőszakaszokon végzünk.

2. Az NVH berendezésen használt mérőszakaszok

A fent leírtaknak megfelelően a vizsgált fizikai probléma /a kutatási programban szereplő feladatok/ szerint néhány példán mutatjuk be az NVH berendezésen alkalmazott mérőszakaszokat.

2.1 19-rudköteg mérőszakasz

Az 1. ábrán látható mérőszakaszt az NVH-E hurokágba építettük /I. rész 2. ábra/. A mérés célja turbulens keveredési vizsgálat /a fűtőelemcsatornák közötti tömeg- és hőcsere/ a hűtőközeg egyfázisú áramlása esetén. A rud-átmérő és a rácsosztás a VVER-440 reaktornak megfelelő, míg a fűtött hossz 1250 mm, a VVER-440 reaktor aktív hosszának a fele. Az 1750 mm-es teljes hosszából 500 mm a fűtés nélküli áramlás-stabilizáló szakasz. A fűtött szakasz csövei rozsdamentes acélból, az áramlás-stabilizáló szakasz csövei vörösréz-ből készültek. A mérés céljának megfelelően a fűtőelemek külön-külön fűthetők és ezzel tetszőleges radiális irányú teljesítmény egyenlőtlenség hozható létre. Ennek megfelelően a távolságtartó rácsok szigetelő anyagból készültek. A mérőszakasz kilépésénél zavarmentes rácsot kellett biztosítani /az ábrán "kilépő rács"/, abból a célból, hogy a fűtőelem csatornáiban a hűtőközeg sebessége és hőmérséklete pontról-pontra mérhető legyen. Az áramkivezetés rudankénti szétválasztása a csövön belül történt az A és B részletnek megfelelően. Sebesség mérésére Pitot csövet, hőmérséklet mérésére termoelemet használunk. A mérésekhez készített speciális méréstechnikai eszközt a következő fejezetben mutatjuk be. A maximális üzemi nyomás 10 kp/cm^2 , a hőmérséklet 100°C , míg a forgalom $30 \text{ m}^3/\text{óra}$.

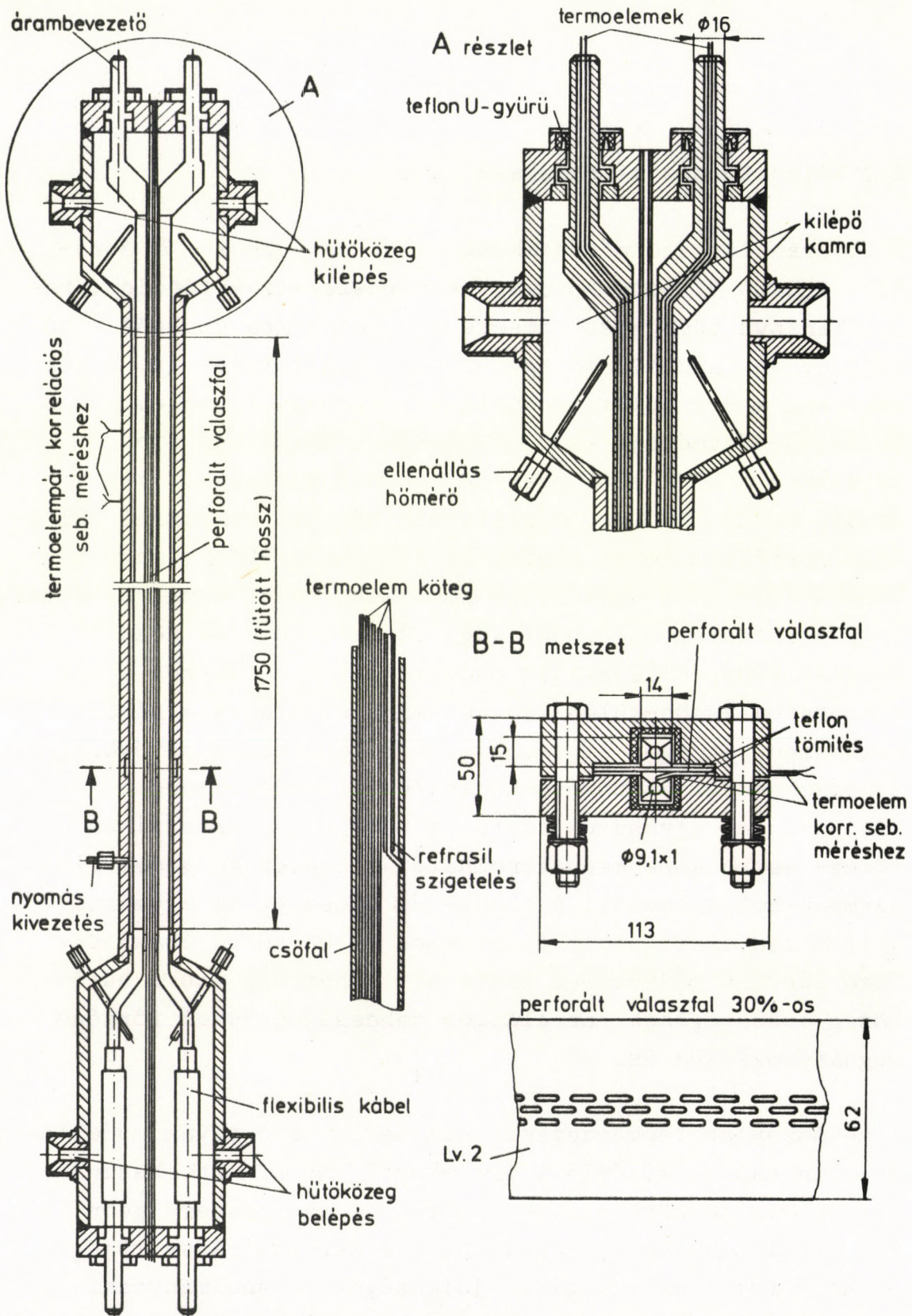


1. ábra
19-rudköteg mérőszakasz

2.2 Kétcsatornás mérőszakasz

A 2.ábrán látható mérőszakasz helye az I.rész 2. ábráján látható "2"jelű hurokág. A mérőszakasz kétfázisu, keresztirányu tömeg- és hőcsere vizsgálatokra szolgál elsősorban, de használható egyfázisu vizsgálatokra is. A két csatorna a B-B metszeten látható egy-egy fűtőelemmel. A fűtőelemek átmérője és a csatornák hidraulikai átmérője azonos a VVER-1000 reaktor hasonló adataival, míg a fűtött hossz 1750 mm. A csatornák közötti válaszfal különböző mértékben lehet perforált /az ábrán 30%/ , vagy képezhet különböző szélességű hosszmenti rést azzal a céllal, hogy a fűtőelemcsatornák, vagy fűtőelemkötegek közötti keresztirányu ellenállást modellezze. A hűtőközeg a két csatornába külön-külön lép be, majd áthaladva a mérőszakaszon két ágon át távozik. A belépésnél a hűtőközeg tömegsebessége és hőmérséklete /entalpiája/ azonos. A kilépés után ugyanezen adatok mérésével a keresztirányu tömeg- és hőcsere meghatározható. A csatornák geometriai szempontból azonosak. A tömeg- és hőcserét az egymástól villamosan elszigetelt fűtőelemek külön-külön és különböző mértékű fűtésével érjük el. Lehetőség van a hűtőközeg sebességének korrelációs sebességméréssel történő meghatározására is.

A mérőszakasz természetesen nem tekinthető olyan modellnek, amelyen kapott kísérleti eredmények közvetlenül használhatóak reaktorkörülmények között, de az egyszerű geometria kiválóan alkalmas arra, hogy a keresztirányu tömeg- és hőcserét - mint fizikai jelenséget - tanulmányozni lehessen. Szükség van tehát arra, hogy több rudat tartalmazó



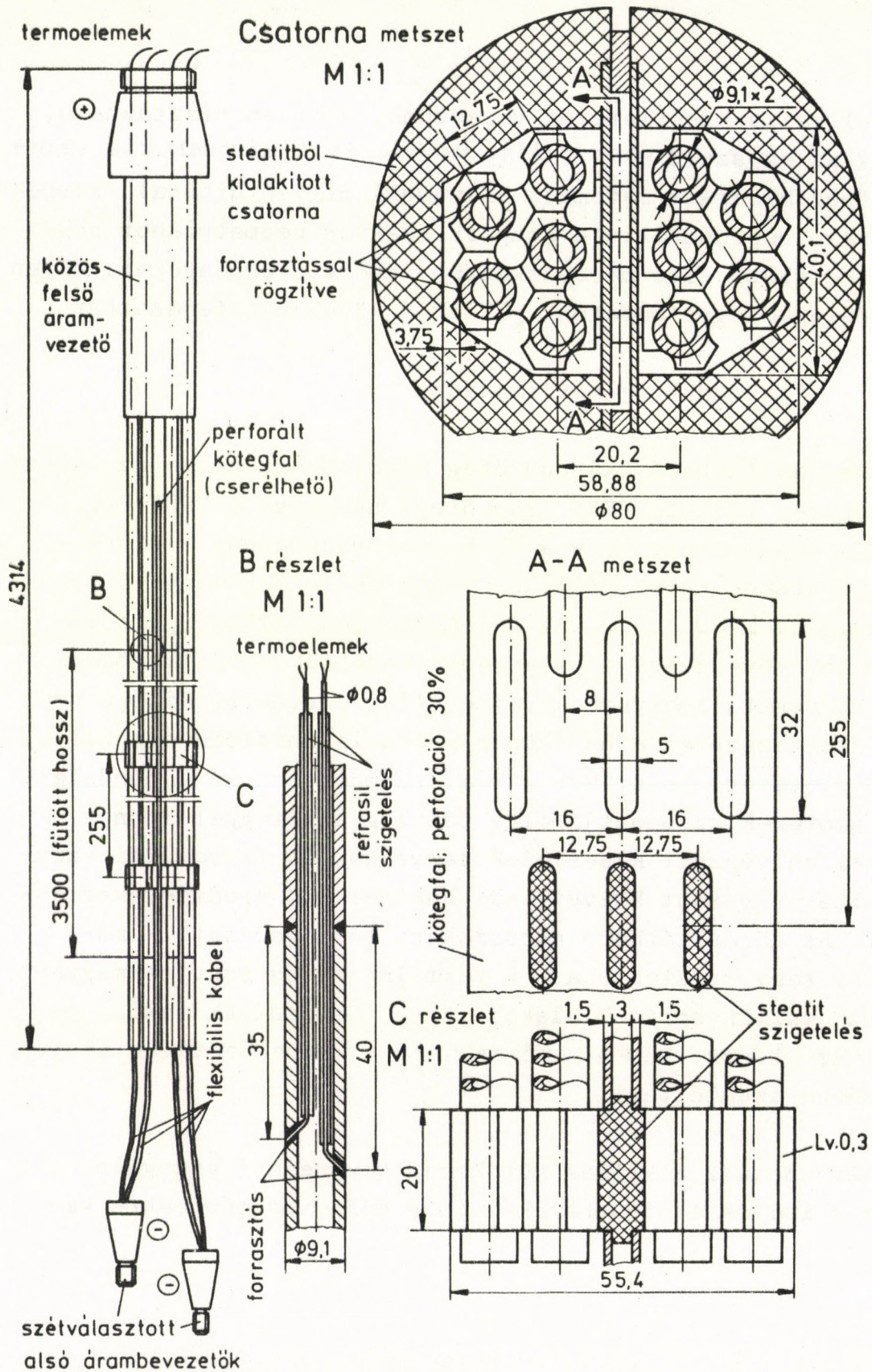
2. ábra
Kétcsatornás mérőszakasz

modellen is kísérleteket végezzünk, amelyen tisztázható, hogy az egyszerű geometriájú modell és a mérések kiértékeléséhez használt matematikai modell milyen hibával /korrekcióval/ reprodukálja a komplex reaktor geometriához sokkal közelebb álló mérőszakaszon kapott eredményeket. Ilyen fűtőelemkötegre mutatunk példát a következő fejezetben.

2.3 2x5-rudköteg mérőszakasz

A 3.ábrán látható 2x5-rudköteg mérőszakasz helye az I.rész 2.ábráján látható PERF /rudköteg/ hurokág. A PERF elnevezés onnan ered, hogy a VVER-1000 reaktorban - a 440-el ellentétben - perforált kötegfalu fűtőelemkötegek lesznek beépítve. [2] Az A-A metszeten látható perforáció lehetővé teszi a szomszédos kazetták közötti tömeg- és hőcserét, amelynek következtében a reaktor kilépő keresztmetszetében a hűtőközeg radiális entalpia eloszlása egyenletesebb lesz. Geometriai szempontból és a rendszerparaméterek szempontjából a tényleges köteggel azonos modellen végzett kísérletek tervezési és biztonsági szempontból egyaránt közvetlenül használható eredményeket adnak. Az ábrán látható mérőszakasz főbb vonásait - műszaki terv szinten - a [3] tartalmazza és szovjet-magyar diszkussziók során kialakult KFKI változatnak tekinthető. Az 1. sz. kép a mérőszakaszt a szerelés adott fázisában szemlélteti.

A mérőszakasz alkalmas hűtőközeg keveredési vizsgálatokra is, de elsősorban kritikus hőfluxus mérésekre készült.



3. ábra
2x5-rudköteg mérőszakasz



1. kép

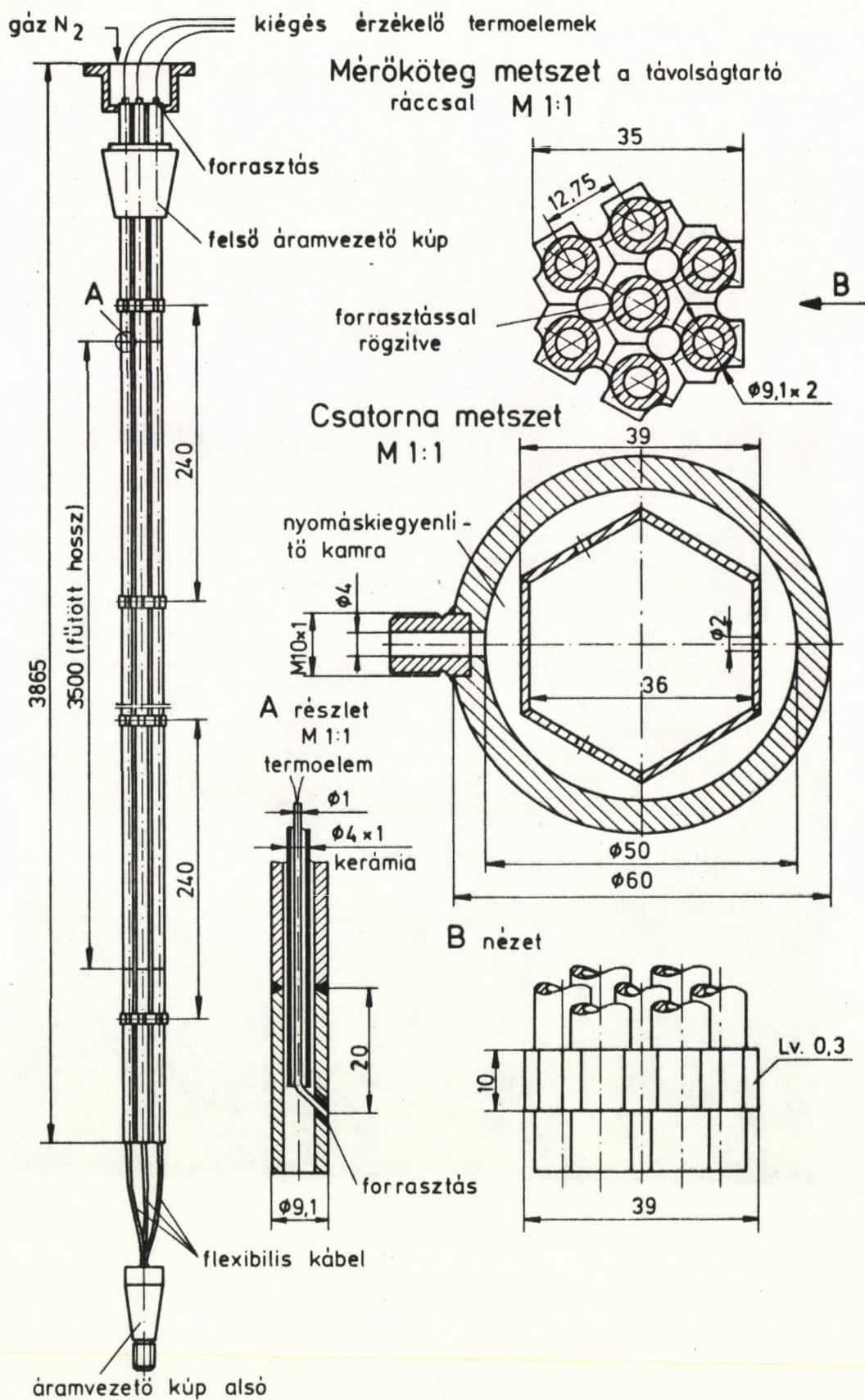
A 2x5 rudköteg mérőszakasz szerelés
közben

A "csatornametszeten" jól látható a 2x5-rudat tartalmazó köteg, a távolságtartó ráccsal, ennek A-A metszeten pedig a cserélhető perforált kötegfal /30%-os perforációval/. A keresztbe vonalkázott steatit szigetelés /A-A metszet C részlet/ a két rudcsoport villamos szigetelésére szolgál. Ugyancsak steatitból alakítottuk ki a csatornát is. Villamos szempontból a felső \oplus pólus közös, míg az alsó \ominus szétválasztott /villamosan szigetelt/, tehát az 5-ös rudcsoportok külön-külön fűthetők és tetszőleges radiális irányu teljesítménygradiens beállítható. A fűtött hossz 3500 mm.

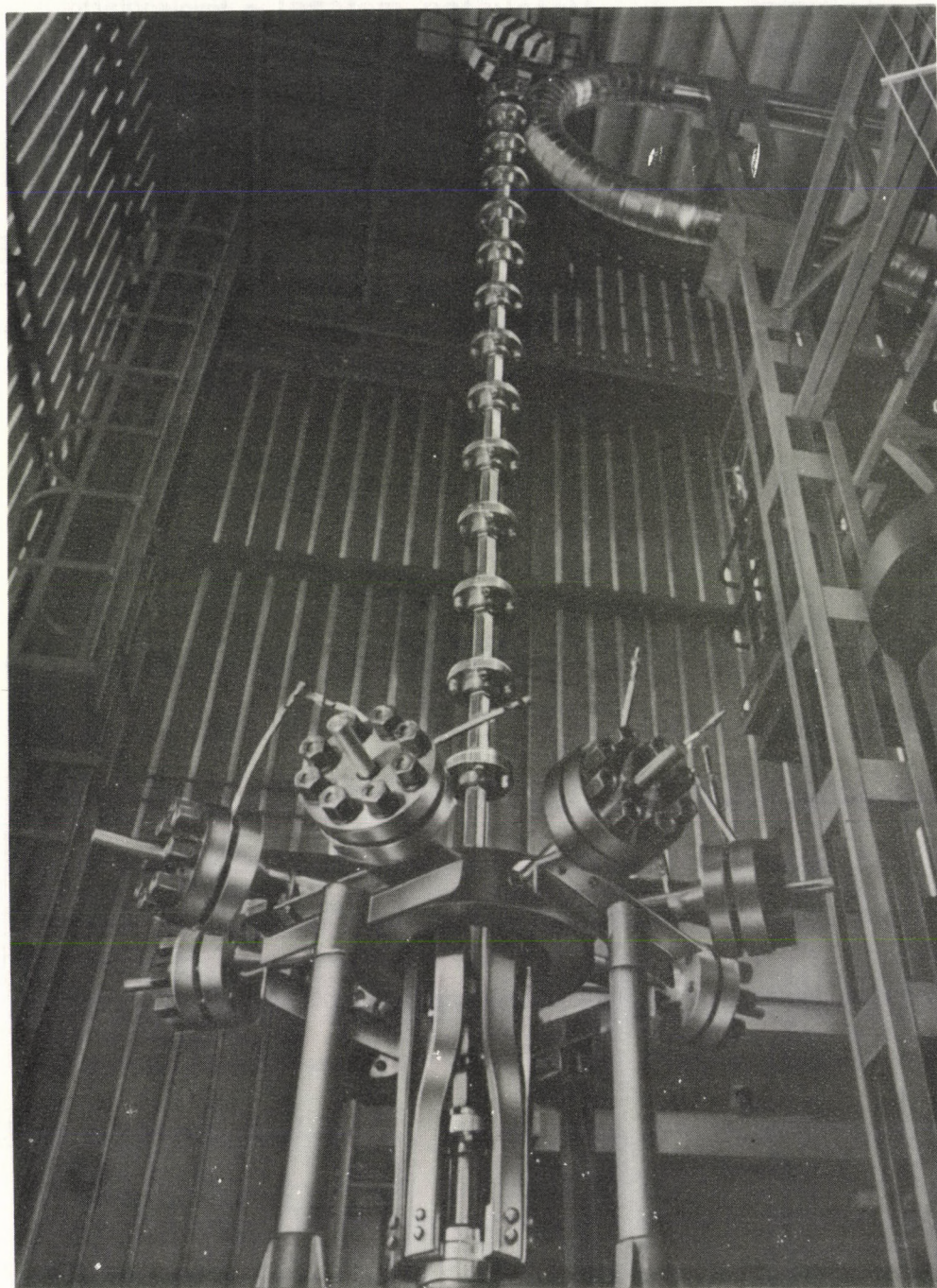
Kritikus hőfluxus méréseknél a villamos fűtő tápegységek 2100 kW-os névleges teljesítménye mellett a fajlagos teljesítmény max. 250 kW/l, a felületi hőfluxus 210 W/cm^2 lehet. A forrásos krízis fellépésekor a teljesítményt - a fűtőelemek eléégésének elkerülése végett - le kell kapcsolni. Erre a célra építettünk az ausztenites szerkezetű, saválló fűtőelem csövek falába kiégésvédő termoelemeket a B részletben látható módon.

2.4 7-rudköteg mérőszakasz

A 4. ábrán látható 7-rudköteg mérőszakaszt az NVH be rendezésén az I. rész 2. ábráján látható "FÜTÖTT /rudköteg/" hurokágba építettük be. A mérőszakaszt elsősorban tranziens kritikus hőfluxus mérésekre használtuk a szivattyukieséses üzemzavari állapot tanulmányozása során. A mérőszakasz VVER-1000 geometriában készült. A csatornafal rozsdamentes acél /lásd: "csatornametszet"/. Ugy gondoljuk, hogy a fent leírtak után további diszkusszió nem szükséges. A 2.sz. képen a mérőszakaszt szerelés közben, a 3.sz. képen a mérés utáni állapotban láthatjuk.

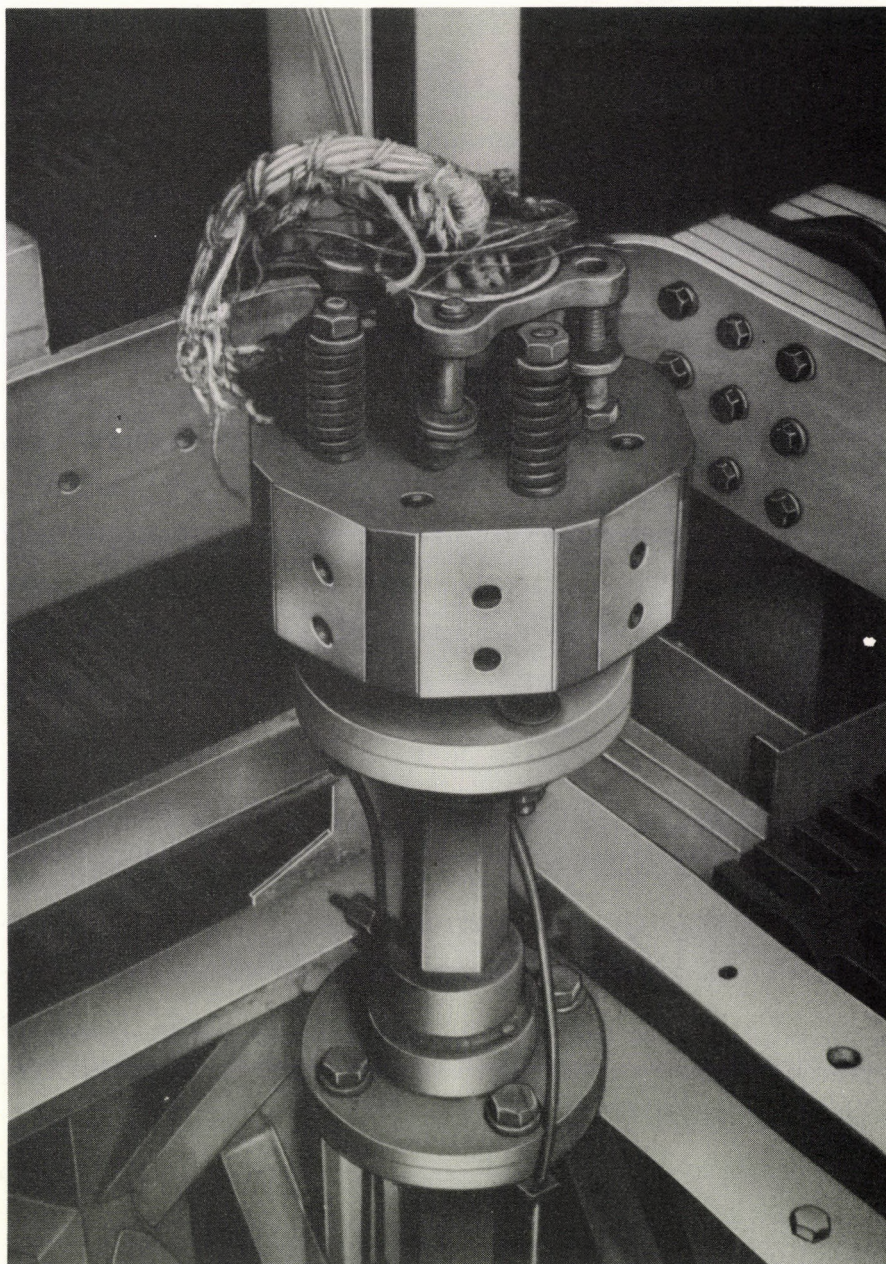


4. ábra
7-rudköteg mérőszakasz



2. kép

A 7-rudköteg mérőszakasz szerelés
közben



3. kép

A 7-rudköteg mérőszakasz mérés
után

2.5 1-rud mérőszakasz

Az 1-rud mérőszakaszt az I.rész 2.ábráján látható "1-rud mérőszakasz" hurokágba építettük be. A vizsgált fizikai problémák: gőz-void, kritikus hőfluxus stacioner és tranziens üzemállapotban, valamint akusztikus és hőmérséklet zaj. A mérőszakasz a II. rész 4. ábráján látható. A rud ténylegesen 10 mm belső átmérőjű cső, a fűtött hossz 2500 mm és a hűtőközeg a csövön belül áramlik. A cső, mint a legegyszerűbb geometriájú mérőszakasz, különösen alkalmas a fizikai jelenségek vizsgálatára és a kísérleti stratégiának fontos láncszeme. A II. részben éppen azért választottuk bemutatási példaként az 1-rud mérőszakaszt, mert szinte valamennyi - a termohidraulikában feladatként jelentkező - fizikai probléma vizsgálható rajta "tisztá" körülmények között.

A 2. fejezet zárása képpen még elmondjuk, hogy az egyes mérőszakaszok leírásánál a vizsgált fizikai problémák közül csak azt emeltük ki, amire az adott modell első-sorban készült. Minden rudköteg mérőszakasz - elvben - ellátható olyan műszerezéssel, hogy valamennyi fizikai folyamat együttesen vizsgálható. Az ilyen univerzális modell azonban technológiai és méréstechnikai okokból gyakorlatilag megvalósíthatatlan, a kísérleti eredmények értéke legalábbis kérdéses.

3. Távolságtartó rácsok

A távolságtartó rács a reaktor zóna egyik legfontosabb szerkezeti eleme. A VVER típusnál a választás a 2. fejezet rudkötegeiben is alkalmazott "méhsejt" típusu rácsra esett. Nem ismerjük azokat a tervezési, kísérleti és üzemviteli tapasztalatokat, amelyek alapján ezt a típust kiválasztották. A látszólag egyszerű szerkezeti elemnek azonban fontos szerep jut. [4] A távolságtartó biztosítja, hogy a fűtőelemrudak elmozdulása radiális irányban a megengedett érték alatt maradjon.

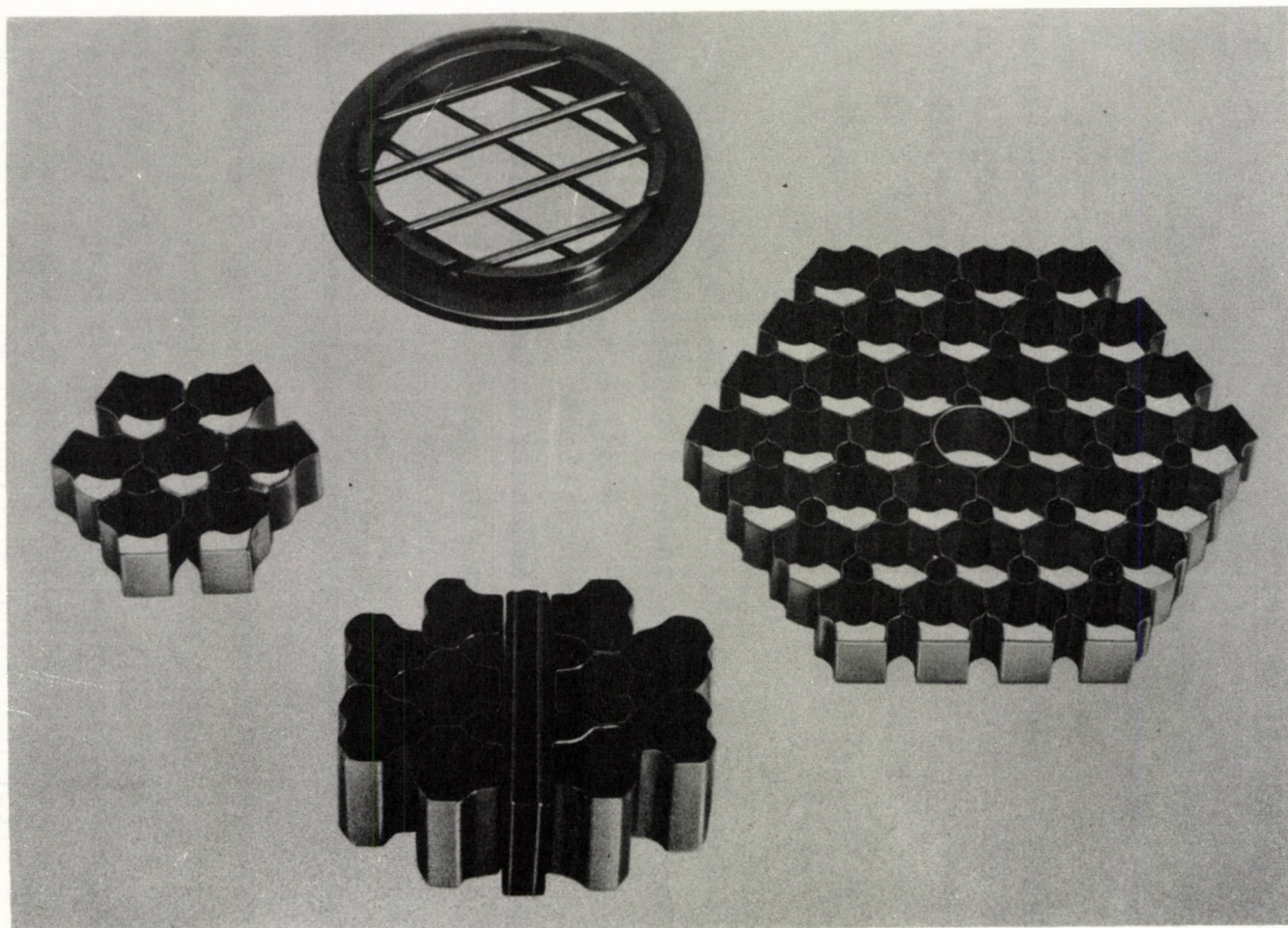
/A "megengedett" értéket neutronfizikai és hőfizikai szempontok egyidejű figyelembevételével lehet megadni./ Az elmozdulás egyrészt a fűtőelemrud kihajlása, másrészt a hűtőközeg-áramlás által gerjesztett vibráció miatt jön létre. A megfelelő számú és konstrukcióju távolságtartó alkalmazásával az elmozdulás a kívánt értéken tartható.

Ráccsal szemben támasztott követelmények:

- kampányidény végéig tartó élettartam, korrozio állékonyság;
- a megadott tűréshatárok között hézagmentesen rögzítse a fűtőelemeket a rácsban;
- elmozdulás-mentesen vegye fel a fűtőelemek vibrációjából származó tömegterhelést;
- rugalmasan kompenzálja /tegye lehetővé/ a fűtőelemek hőtágulását;

- két távolságtartó rács közötti fűtőelem szakasz vibrációs frekvenciája és amplitudója megengedett érték alatt maradjon;
- hidraulikai ellenállása kicsiny legyen és legyen szimmetrikus, hogy ne okozzon nem kívánatos keresztáramlást;
- a relatív elmozdulások miatt a fűtőelemek felületén a koptatásos korrozio a megengedett érték alatt maradjon, stb.

A nálunk használatos távolságtartó rácsokra látunk példát a 4.sz. képen.



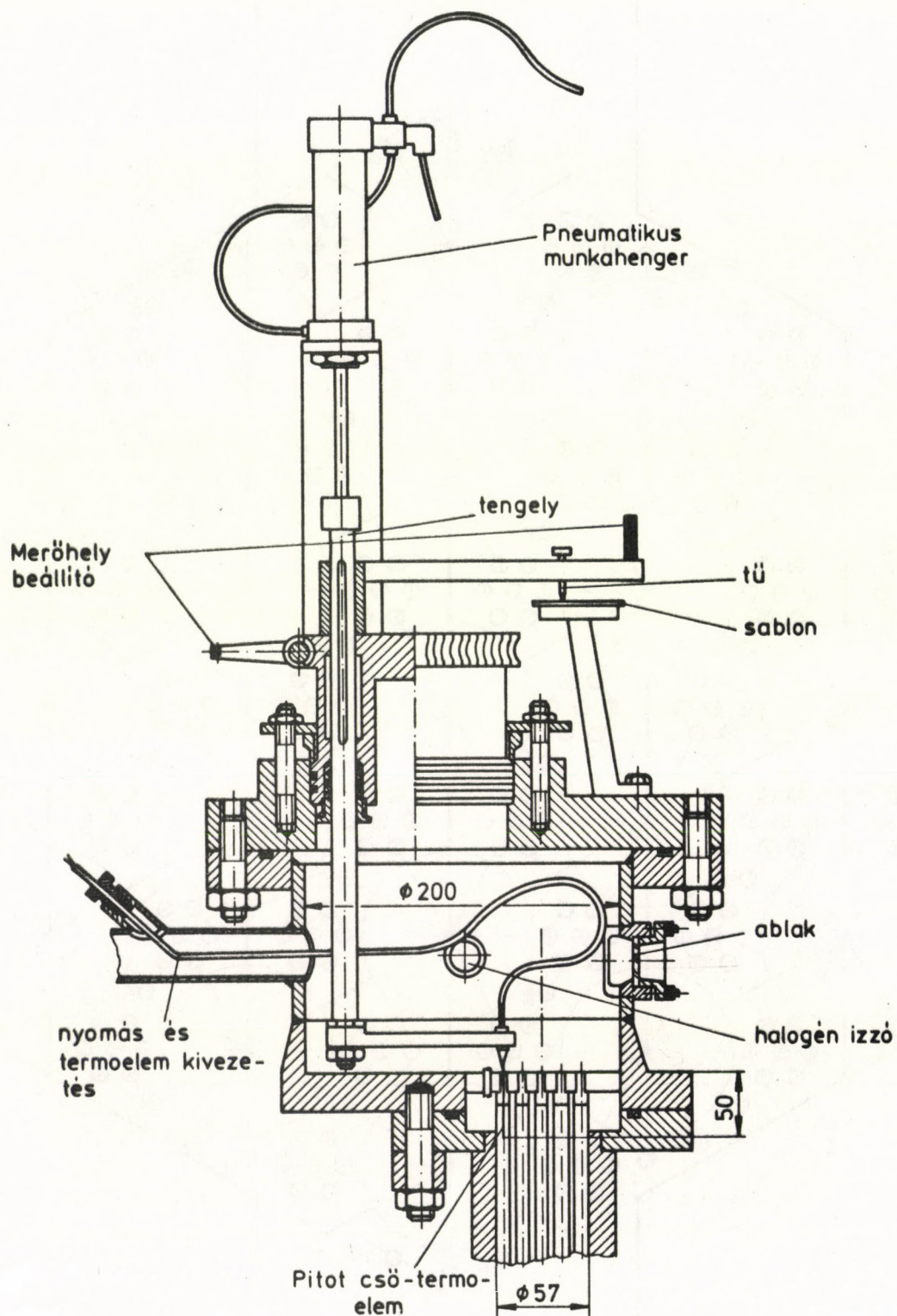
4. kép
Távolságtartó rácsok

4. Méréstechnikai eszközök

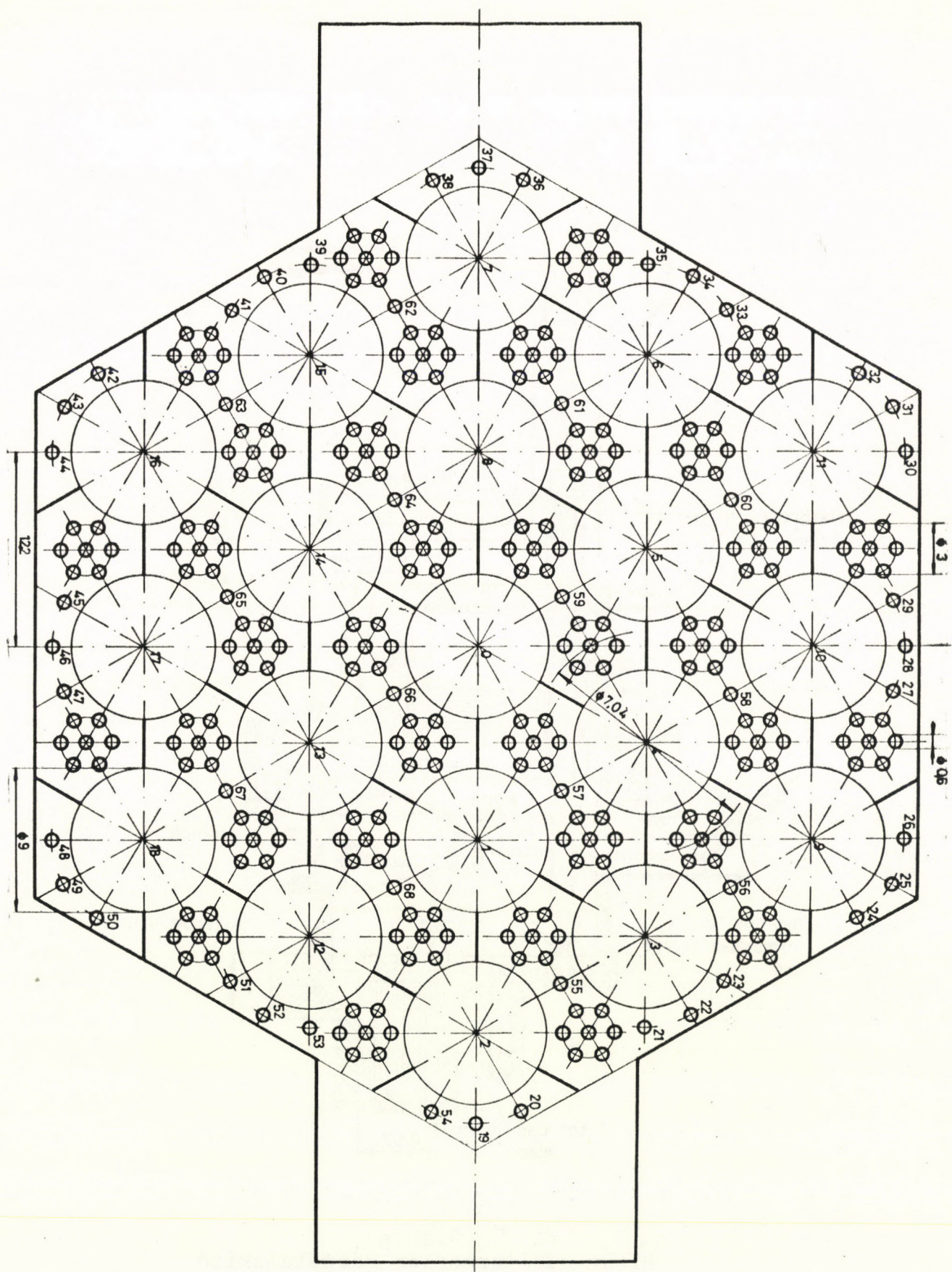
4.1 Sebesség- és hőmérséklet eloszlás mérése

A 2.1 pontban leírt 19-rudköteg mérésénél szükség van a fűtőelem csatornáknak a sebesség- és hőmérsékleteloszlás mérésére. A követelmény az, hogy adott időpillanatban a rudköteg teljes keresztmetszetének egy előre megadott pontjában hajtsuk végre a mérést. A sebesség mérésére Pitot csövet, hőmérséklet mérésre termoelemet választottunk.

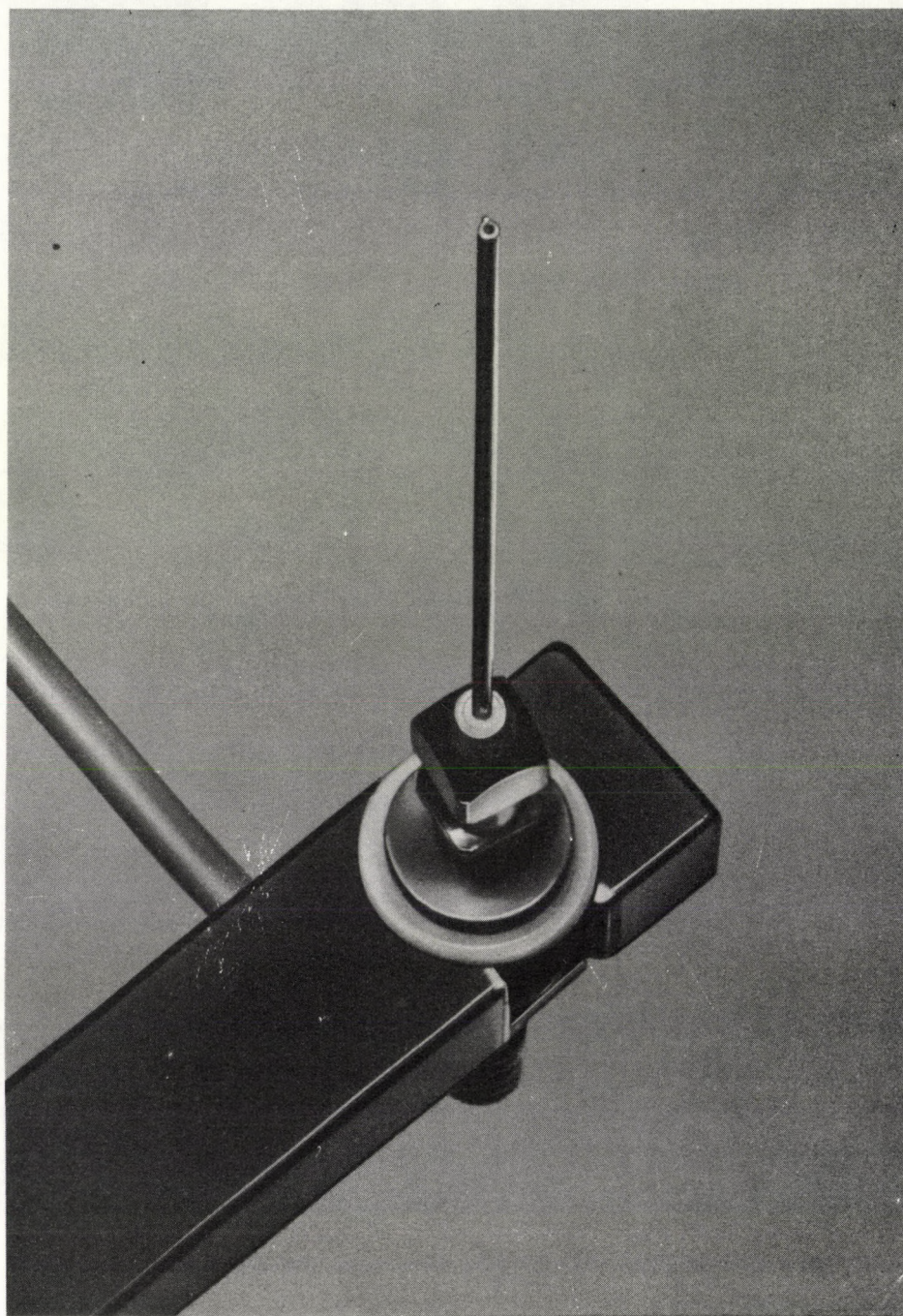
Az összeépített Pitot cső - termoelem mérőátalakító mozgatására az 5. ábrán látható méréstechnikai eszközt konstruáltuk, amelynek segítségével a mérőátalakítót r, φ, z koordináták mentén lehet mozgatni. A beállítási pontosság növelése érdekében közös tengelyre szereltük a Pitot cső - termoelem mérőátalakítót és azt a tűt, amellyel - egy a fűtőelem ráccsal pontosan meg egyező sablonon - a mérőhelyet be lehet állítani. A sablon a mérőhelyekkel a 6. ábrán látható. A mérőhely beállítása - a teljesen összeszerelt egységen - az ablakon keresztül történik olyan módon, hogy a megvilágított rácsra a sablon pontos mását helyezzük és a sablont úgy állítjuk be, hogy a mérőátalakító és a tű azonos helyzetben legyen. Az r, φ irányu mozgatás mechanikus, míg a z irányu mozgatás pneumatikus uton történik. A Pitot cső külső átmérője 1 mm, falvastagsága 0,25 mm. A 0,25 mm átmérőjű köpenytipusu termoelemet a hossztengelye mentén felhasított Pitot csőbe építettük be az 5. képen látható módon. Az 6. képen a fent leírt méréstechnikai eszköz látható a sablonnal és ugyanezen a képen látható a 19-rudköteg mérőszakasz kilépő rácsa is.



5. ábra
Pitot cső termoelem mérőátalakító
beállító mechanizmusa

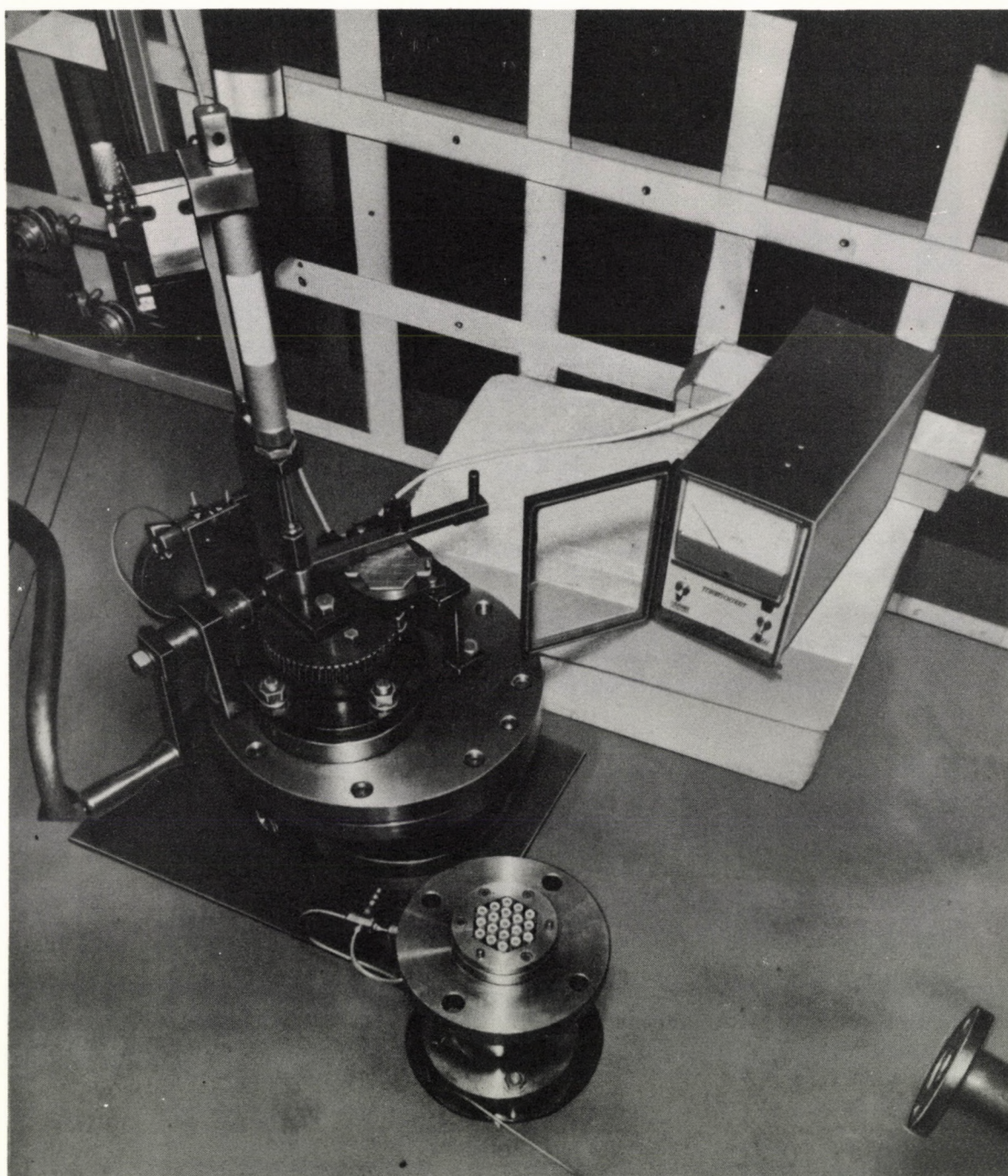


6. ábra
Beállító sablon a mérőhelyekkel



5. kép

Pitot cső-termoelem mérőátala-
kító



6. kép

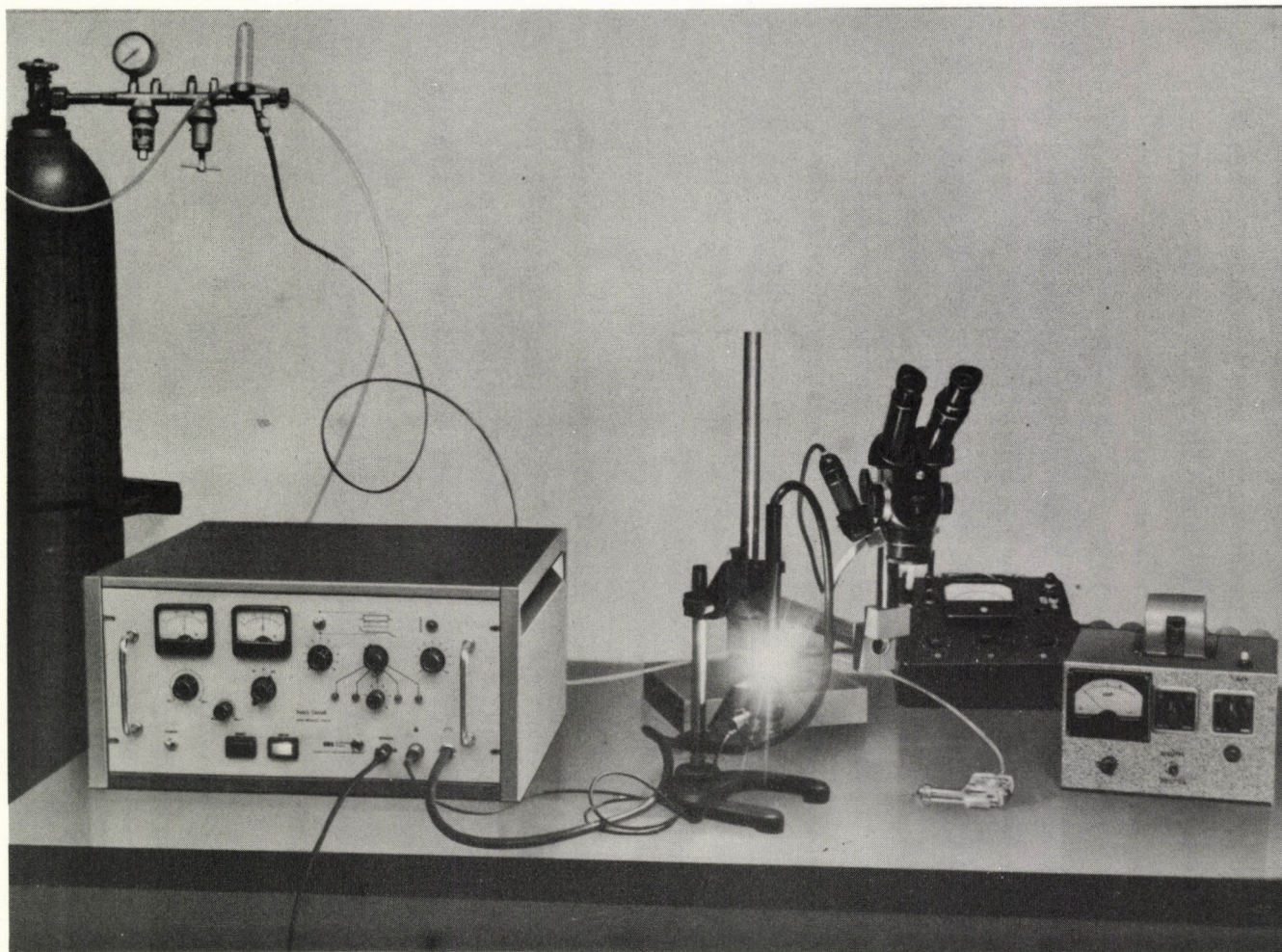
Sebesség- és hőmérsékleteloszlás
mérésére kifejlesztett mérés-
technikai eszköz

4.2 Kis átmérőjű termoelemek készítése

A VVER-típusra jellemző geometriai sajátosság, hogy a fűtőelemrács nagyon sűrű: rudátmérő 9,1 mm, rácsosztás 12,2 ill. 12,75 mm. Ez a tény a mérés technikával és különösen a termoelemes hőmérséklet méréssel szemben azt a követelményt támasztja, hogy a köpeny-típusu termoelemek átmérője kicsiny legyen. A használható termoelem átmérők - a mérés céljától függően - 0,25 és 1 mm között változnak. Hozzá kell tenni, hogy megfelelő minőségű /köpeny-anyagu/ termoelemek csak tökéletes importból biztosíthatók. Rudköteg mérésekhez nagyszámu termoelemre van szükség és többségük csak egyszeri alkalommal használható, mert "meleg pontjuk" tönkremegy.

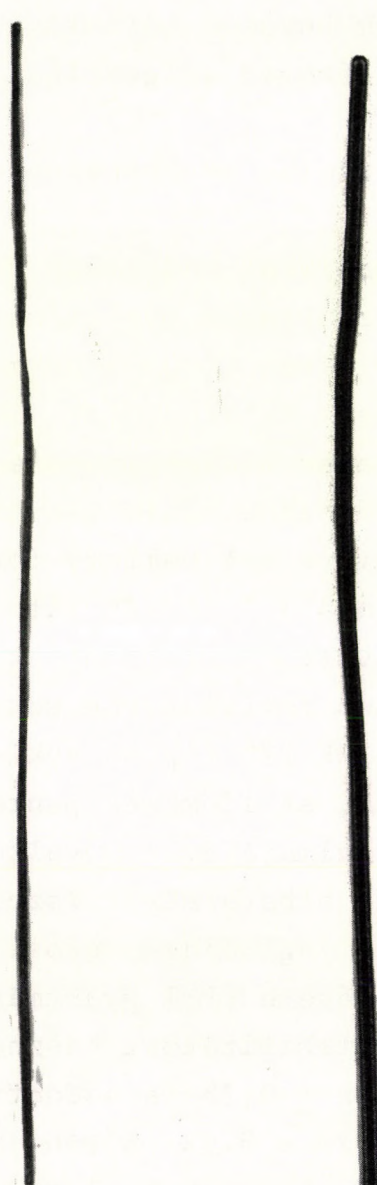
Termoelem melegpontok és más finommechanikai eszközök készítésére hoztuk létre a 7. képhen látható berendezést, amelynek alapja az MW-6 típusu mikrohegesztő. Ezt egészítettük ki olyan eszközökkel, amelyek a rendszert sokféle feladat elvégzésére teszik alkalmassá. Az argon védőgázos ivhegesztő berendezés főbb műszaki jellemzői:

Hegesztőáram:	0,2 - 6.0 A
Nyitott hegesztőkör feszültsége:	0 - 150 V
Hegesztési idők / 4 fix és 1 folyamatosan változtatható/:	0,4 - 4 sec
Hegeszthető méret:	Ø 0,25 - 3 mm
Hegeszthető hossz/átmérő:	1,5m/0,25mm ill. 4m/0,5mm



7. kép
Mikrohegesztő berendezés

10 mm

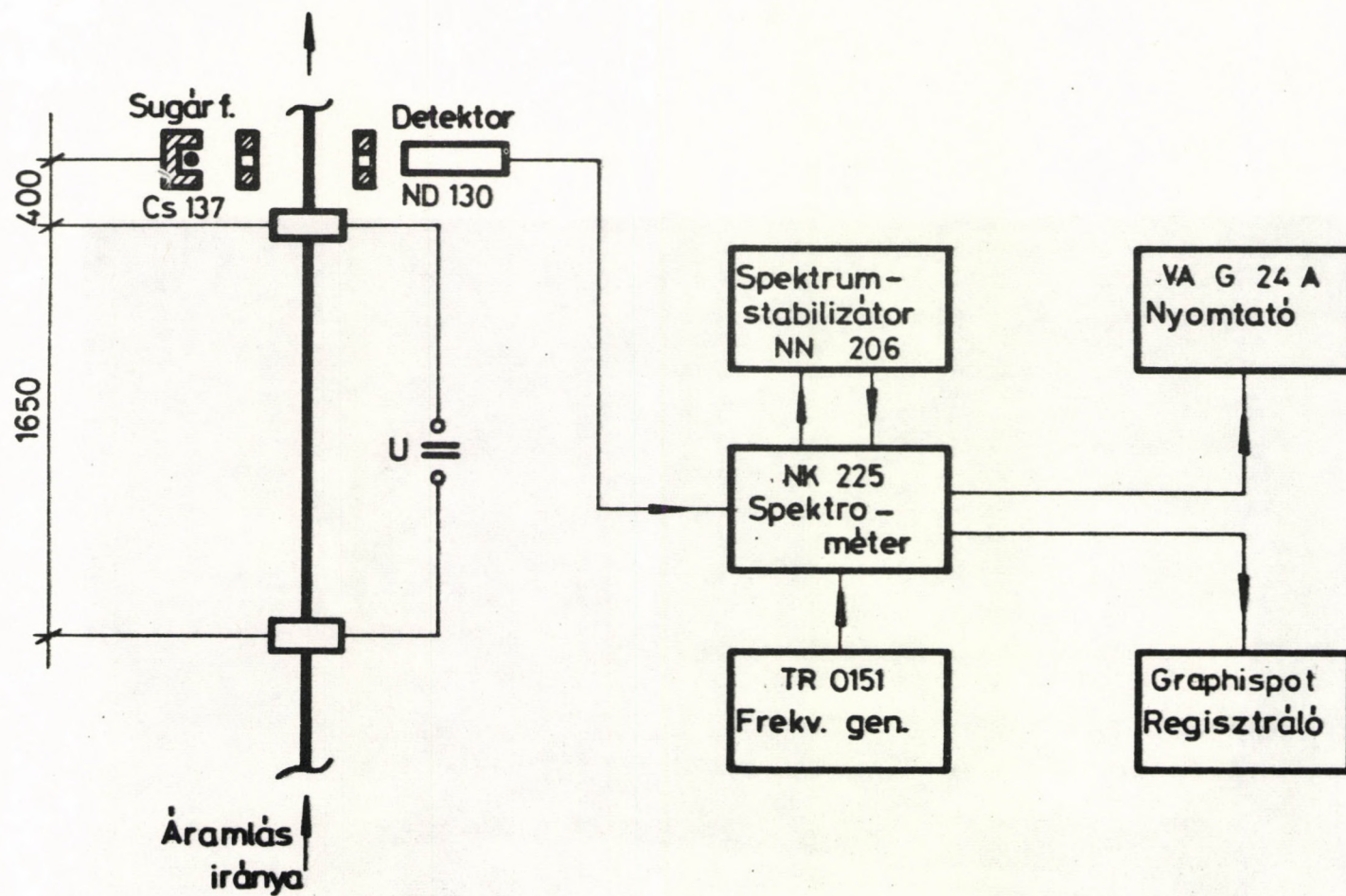
The image shows two vertical, dark, slightly irregular lines representing thermoelements. They are positioned parallel to each other. Above them is a horizontal scale bar with vertical tick marks, labeled '10 mm'.

8. kép
Röntgenkép lezárt termoelemekről

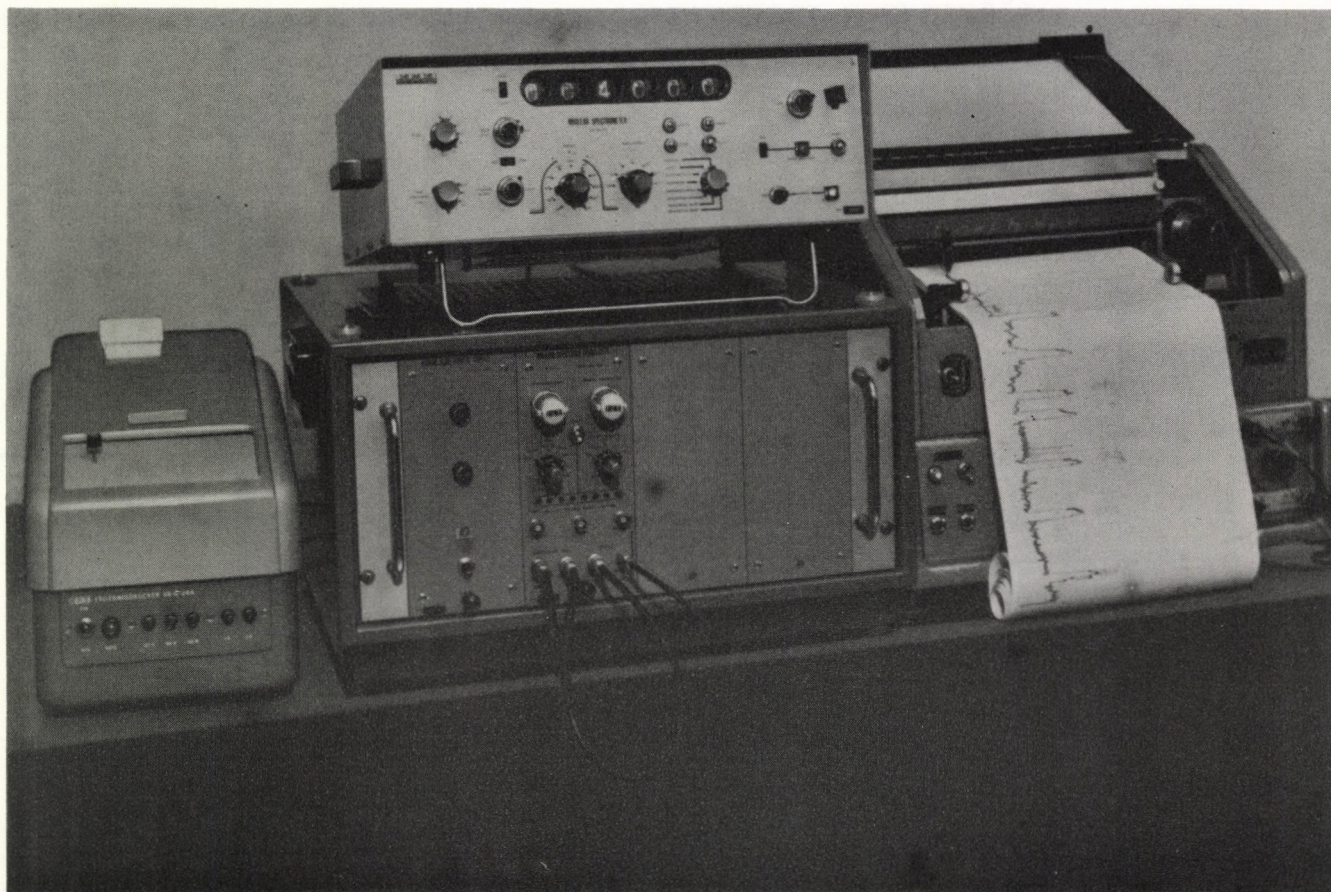
A 8. sz. röntgen-képen a berendezésen készített 0,5 és 1 mm átmérőjű termoelemek melegpontjai és a köpeny "lezárás" látható. A sötétebb tónusu részleteken a köpeny, ill. termoelem huzalok láthatók, míg a világosabb tónusu részletek a fémoxid szigetelést mutatják.

4.3 Térfogati gőztartalom mérőberendezés

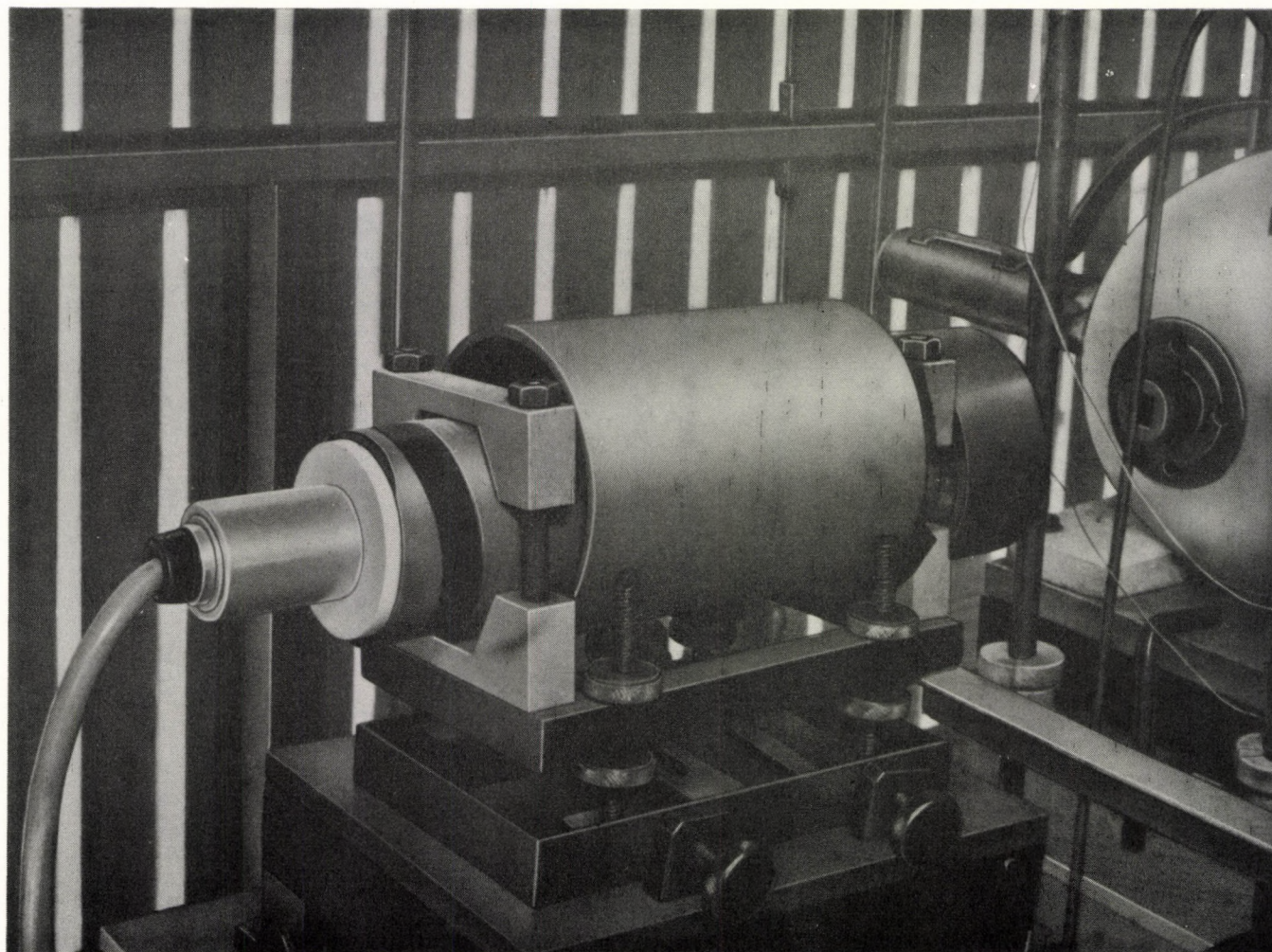
A reaktor termohidraulikai kutatások fontos részterülete a térfogati gőztartalom meghatározása. A számos lehetséges mérési eljárás közül a gammasugár gyengülésen alapuló módszert választottuk [5]. A módszer ismert, azonban a magas - elektromos és mágneses - háttérzaj miatt a mérőlánc kialakítására és a zavar elhárítására nagy figyelmet kellett fordítani. A mérőösszeállítás vázlata a 7. ábrán látható. A detektor talliummal aktivált nátriumjodit kristályt tartalmazó ND-130-típusú fotoelektron sokszorozó, amely egy KFKI gyártmányú NK-225 típusú nukleáris spektrométerhez csatlakozik, az időmérés pontosságát frekvencia-generátor alkalmazásával növeltük, a mérőláncban jelentkező egyéb hibaforrások /szcintillációs kristály hőmérséklet ingadozása, erősítő instabilitása, stb./ kiküszöbölésére KFKI gyártmányú NN-206 típusú analóg spektrum stabilizátort használtunk. A számológépi hiba ezek után $\pm 0,2\%$ -ra adódott. A mérőösszeállítás műszeres része a 9.sz. képen, míg a sugárforrásnak /Cs-137/ és a detektornak az 1-rud mérőszakaszra telepített megoldása a 10.sz. képen látható.



7. ábra
A gőztartalom mérőberendezés blokkvázlata



9. kép
A térfogati gőztartalom mérő be-
rendezés műszerezése



10. kép

A térfogati gőztartalom mérő be-
rendezés az 1-rud mérőszakaszon

5. Az NVH berendezésen eddig lefolytatott kísérletek

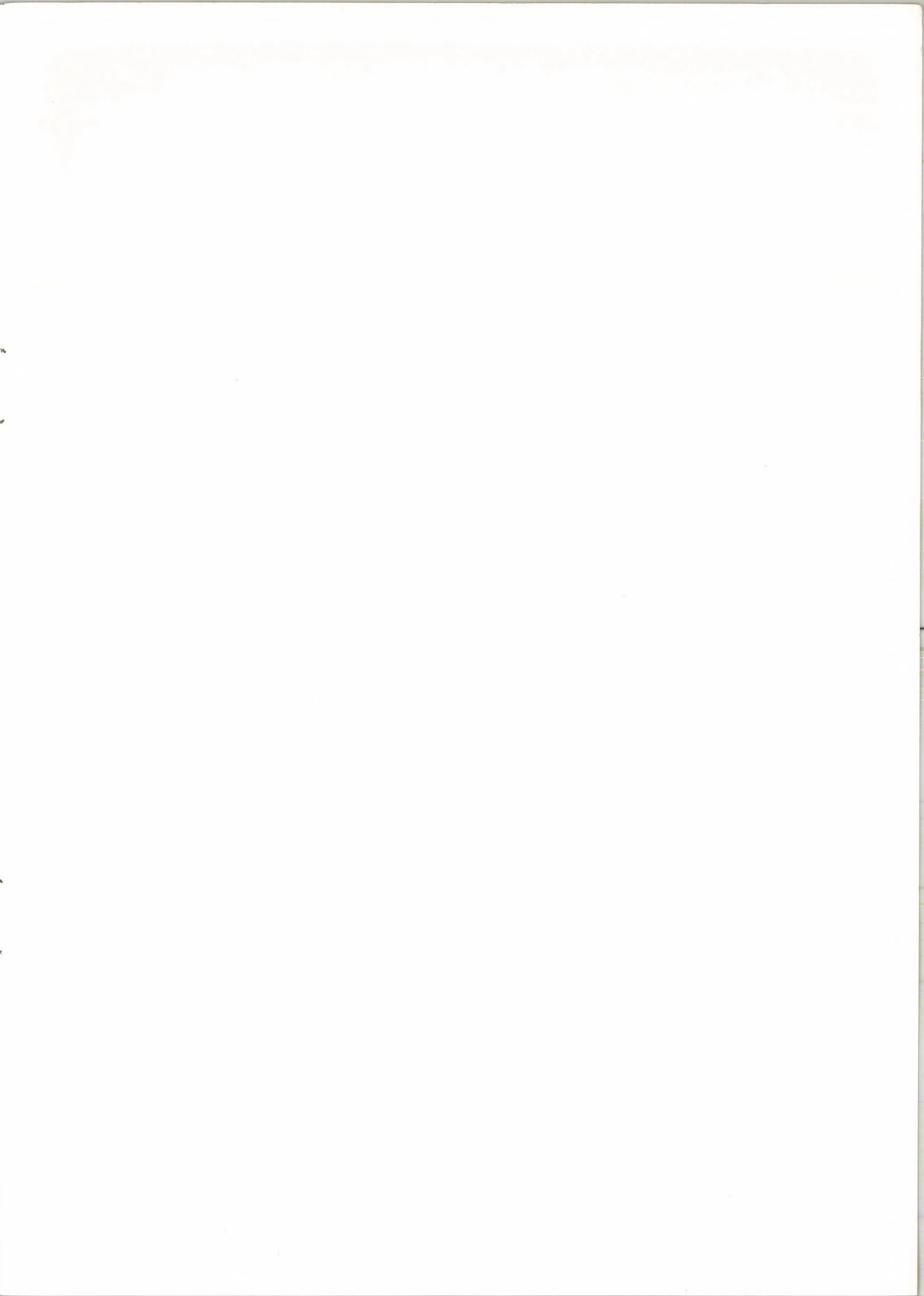
1975 évi üzembehelyezést követően az NVH berendezésen a következő kísérleteket hajtottuk végre:

- egy- és kétfázisu nyomásesés mérések;
- hűtőközeg keveredési vizsgálatok;
- hőmérséklet- és akusztikus zaj mérések;
- térfogati gőztartalom mérések;
- kritikus hőfluxus mérések 1-rud mérőszakaszon állandósult állapotban;
- kritikus hőfluxus mérések 1-rud mérőszakaszon teljesítmény és áramlási tranziensek esetén;
- kritikus hőfluxus mérések 7-rudköteg mérőszakaszon áramlási tranziensek esetén;
- kritikus hőfluxus mérések 2x5-rudköteg mérőszakaszon állandósult állapotban.

A kísérleti tapasztalatok és a felsorolt mérések eredményei igazolták, hogy az NVH berendezés a tervezett kutatási program végrehajtására alkalmas. Ezt bizonyítja - egyebek mellett - a szovjet partner-intézetekkel létrejött tudományos együttműködési szerződés is.

6. Irodalom

- [1] Szabados László, Ézsöl György: Hűtőközeg keveredési vizsgálatok 19-rodköteg mérőszakaszon.
2. Hőfizikai Szeminárium. Budapest, 1978. március 20-23. /publikálás alatt, oroszul/.
- [2] Szabados László és mások: A VVER-1000 típusu reaktor termohidraulikai kísérleti programja és a kísérletek néhány eredménye.
2. Hőfizikai Szeminárium. Budapest, 1978. március 20-23. /publikálás alatt, oroszul/.
- [3] Műszaki feladatterv kritikus hőfluxus vizsgálatára készítendő mérőszakaszokról a VVER-1000 típusra.
Moszkva, 1976. /orosz nyelven/.
- [4] L. Szabados, L.M. Kovács: RKVI, Computer Program to Determine Vibration Characteristics of Fuel Rods in Parallel Flow. KFKI-72-21.
- [5] Windberg P., Baranyai G., Maróti L., Szabados L.: Térfogati gőztartalom mérő berendezés fejlesztése és alkalmazása. II. Rész.
KFKI- Atomenergia Kutató Intézet, Budapest, 1977.





Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Szabó Ferenc
Szakmai lektor: Perneczky László
Példányszám: 150 Törzsszám: 1977-1280
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Budapest, 1978. január hó